

*Überreicht vom Verfasser*

# **EIN VERSUCH DAS EMBACHHOCHWASSER IM FRÜHLING FÜR TARTU (DORPAT) VORHERZUBESTIMMEN**

VON

**KARL FRISCH**

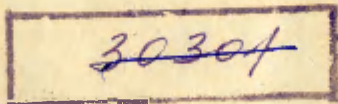
---

TARTU-DORPAT 1926

**EIN VERSUCH  
DAS EMBACHHOCHWASSER IM  
FRÜHLING FÜR TARTU (DORPAT)  
VORHERZUBESTIMMEN**

VON

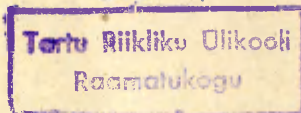
**KARL FRISCH**



TARTU-DORPAT 1926

*Acta et Commentationes Universitatis Dorpatensis A IX. 8*

Est. 4



16732



In der vorliegenden Arbeit soll ein Versuch gemacht werden, das Frühlingshochwasser des Embachs bei Tartu (Dorpat) zu untersuchen und festzustellen, in welchem Masse eine Beziehung zwischen der erwähnten Erscheinung und den Niederschlagsmengen besteht, und mit welchem Resultate eine Vorhersage des Hochwassers sich ausführen liesse.

Zuerst erlaube ich mir einige Worte über die Ausführung der Beobachtungen des Wasserstandes vorausszuschicken.

Die Wasserstandsmessungen am Embach bei Tartu beginnen mit dem Jahre 1866. Es wurde an einem an der Steinbrücke befestigten Pegel aus Holz täglich um 13 Uhr die Wasserhöhe in cm abgelesen. Zur besseren Ablesung wird die Pegelskala jeden Frühling neu überstrichen. Leider sind die Ablesungen nur bei offenem Wasser täglich ausgeführt worden, während sie bei Eisbedeckung vollständig fehlen. Ausserdem leiden die ersten Jahrgänge an mehreren Unterbrechungen.

Als Marken des Pegels dienen in die Brückenmauer eingeschlagene Eisenklammern, an die der Pegel angeschraubt ist, und eine neben demselben befindliche Nivelliermarke des Stadtnivellements von 31.00 m Höhe. Der Nullpunkt des Pegels befindet sich um 32,6 m niedriger als die Höhenmarke an der Schwelle der Sternwarte, und damit nach dem Nivellement des Landeskulturbureaus im Jahre 1901 29,51 m über dem Nullpunkt des Kronstadter Pegels<sup>1)</sup>.

Um über die Schwankungen des Wasserstandes am Embach eine Übersicht zu geben, sind in Tab. 1 die monatlichen Mittelwerte der Wasserhöhe von 1866—1924 aufgeführt. Weiter finden sich in derselben Tabelle die absoluten höchsten und niedrigsten Werte für denselben Zeitraum.

Zur Berechnung der erwähnten Mittelwerte dienten die in den Meteorologischen Beobachtungen des Observatoriums der

---

1) Meteorologische Beobachtungen, angestellt in Jurjew 1902.

Universität Tartu abgedruckten täglichen Wasserstandsmessungen und die 50-jährigen Mittelwerte derselben von 1866—1915 <sup>1)</sup>.

Tabelle 1.

	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Mittel . . .	139	193	169	122	98	81	70	68	86	95
Max. . . .	323	352	373	250	254	242	200	190	354	349
Min. . . .	37	30	44	24	16	—12	—10	—4	—2	5

Die Mittelwerte vom Dezember und März sind für den Dezember vom 1. bis zum 11. Tage, und für den März vom 21. bis zum 30. Tage berechnet, da in der Zwischenzeit der Fluss sich meist unter der Eisdecke befindet. Aus der Tabelle ersehen wir, dass der höchste mittlere Wasserstand im Frühling auf den Monat April fällt, der niedrigste dagegen auf den Oktober. In gleicher Weise sind auch die absoluten maximalen und minimalen Werte verteilt: die höchsten Werte fallen auf die Frühlingsmonate, die niedrigsten auf den Sommer.

Die extremen Höhen in der ganzen Beobachtungsperiode sind 373 cm am 6. Mai 1867 und — 12 cm am 23. August 1887, woraus die absolute Schwankung von 385 cm resultiert.

In der folgenden Tabelle 2 befinden sich die Angaben über die Wasserstände im Frühling, wo das Wasser über 275 cm stieg und somit die niedrig gelegenen Strassen der Stadt überschwemmte.

Tabelle 2.

Höhe in cm	Datum	Höhe in cm	Datum
373	6. V 1867	298	29. IV 1905
352	26. IV 1868	310	20. IV 1906
283	14. IV 1878	323	9. III 1912
315	30. IV 1879	278	20. IV 1915
299	9. IV 1886	306	23. IV 1917
289	21. IV 1897	300	20. IV 1919
343	19. IV 1899	339	1. V 1922
320	24. IV 1900	354	28. XI 1923
286	30. III 1903	346	24. IV 1924

1) Fünfzigjährige Mittelwerte aus den meteorologischen Beobachtungen 1866—1915 für Dorpat.





Fig. 1.

Eine Sondererscheinung bildet das Jahr 1923, wo der Embach eine bisher im Herbst (28. XI) nicht beobachtete Höhe von 354 cm aufwies.

Da die Flussufer grösstenteils flache Wiesen darstellen, sind sie und damit auch die niedrig gelegenen Strassen der Stadt beim Hochwasser unter Wasser. Zur Charakterisierung des Hochwassers sind auf der Stadtkarte von Tartu (siehe Fig. 1) die im Frühling 1924, wo die maximale Höhe bis zu 346 cm reichte, mit Wasser bedeckten Gebiete punktiert. Die Höhe des Wassers war in einigen Strassen verhältnismässig gross und erreichte an manchen Stellen über 1 m (Bohnenstrasse 1,5 m). Von den Faktoren, die auf die plötzliche Zunahme des Flusswassers im Frühling einwirken, sind in erster Linie die im Winter gefallenen Schneemengen des Zuflussgebietes zu nennen. Weiter kommt in Betracht die Witterung nach Aufgang des Flusses: ist sie andauernd warm und regenreich, so können die im Winter angesammelten Schneemengen in wenigen Tagen auftauen und dadurch die Wasserhöhe schnell ansteigen lassen, während bei entgegengesetzter Witterung das Schmelzen des Schnees langsam vor sich geht und dementsprechend eine geringe Zunahme des Flusswassers hervorruft. Leider haben die Schneehöhemessungen mit Ausnahme von Tartu in grösserer Anzahl erst im letzten Dezennium begonnen, weshalb wir in den folgenden Ausführungen uns nur mit den Schneehöhemessungen von Tartu befassen werden. Dieselben beginnen im Winter 1895/6 und sind die ganze Zeit ohne Unterbrechung fortgesetzt worden.

Ausser der Schneehöhe ist die Zunahme der Wasserhöhe im Frühling abhängig von dem Stande des Wassers beim Aufgang des Flusses. Ist das Wasser entsprechend hoch, so erfolgt die Zunahme nicht so stark, wie bei niedrigem Wasserstand, da in ersterem Falle infolge der flachen Ufer die Breite des Flusses stark zunimmt. Um den Zusammenhang zwischen der Schnee- und der Wasserhöhe beim Aufgang des Flusses einerseits und der Zunahme der Wasserhöhe andererseits zu veranschaulichen, sind in Fig. 2 die betreffenden Werte von 1896 bis 1925 graphisch dargestellt.

Es bedeutet die fette Linie die Zunahme des Wassers in cm von Aufgang des Flusses bis zum höchsten Wasserstand im Frühling, die ausgezogene Linie die Wasserhöhe beim Aufgang



des Flusses und die punktierte — die mittlere Schneehöhe in cm von zehn Tagen vor Aufgang des Flusses.

Leider sind die Schneehöhemessungen in Tartu nicht die ganze Zeit über an demselben Ort ausgeführt worden, sondern an verschiedenen Stellen, wo die Einwirkung des Windes recht verschieden war.

Um festzustellen, in welchem Masse sich die Beziehung zwischen den erwähnten Faktoren zu einer Vorhersage des Frühlingshochwassers verwenden lässt, nehmen wir einfachheits halber an, dass die Zunahme des Flusswassers in cm nach Aufgang eine lineare Funktion derselben ist, das heisst:

$$Z = AF + BS + C$$

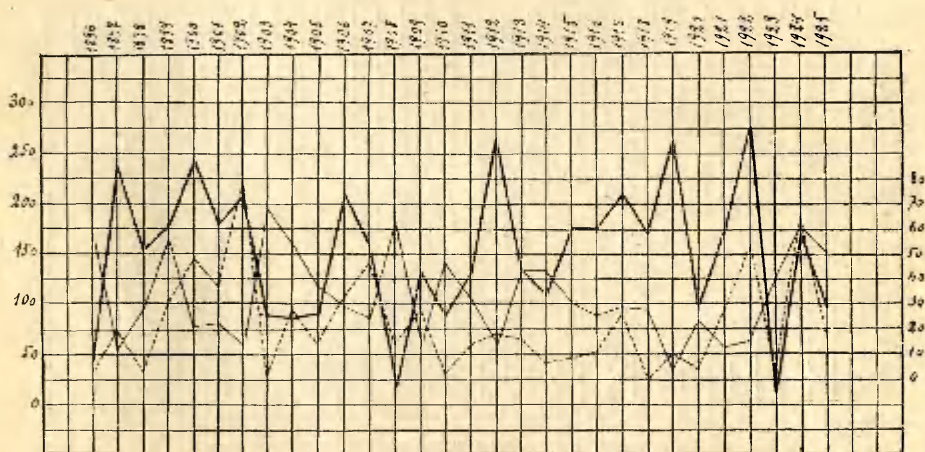


Fig. 2.

wo  $Z$  die Zunahme des Flusswassers in cm von Aufgang des Flusses bis zum höchsten Wasserstand im Frühling bedeutet,  $F$  die Wasserhöhe am Tage des Aufganges des Flusses,  $S$  das Mittel der Schneehöhe von 10 Tagen vor dem Aufgang des Flusses, und  $A$ ,  $B$ ,  $C$  die unbestimmten Koeffizienten.

Da die Schneehöhemessungen bis zum Winter 1895/96 zurückreichen und damit eine Beobachtungsperiode von 30 Jahren zur Verfügung steht, können wir nach der angeführten Formel 30 Gleichungen aufstellen, aus denen sich nach der Methode der kleinsten Quadrate die unbekannten Koeffizienten  $A$ ,  $B$ ,  $C$



bestimmen lassen. Nach Ausführung der Berechnung finden wir:

$$A = -1,01, \quad B = 1,22, \quad C = 235,02$$

Um festzustellen, wie weit sich die gefundenen Koeffizienten zu einer Vorhersage des Frühlingshochwassers verwenden lassen, sind ihre Werte in die erwähnten Gleichungen eingestellt und die Zunahme des Hochwassers für jeden Frühling aus diesen berechnet. Die in dieser Weise berechneten Werte sind zusammen mit den wirklichen Werten durch Zickzacklinien in Fig. 3 dargestellt, wo die ausgezogene Linie die wirkliche Zunahme in cm für jeden Frühling angibt, die punktierte die berechnete.

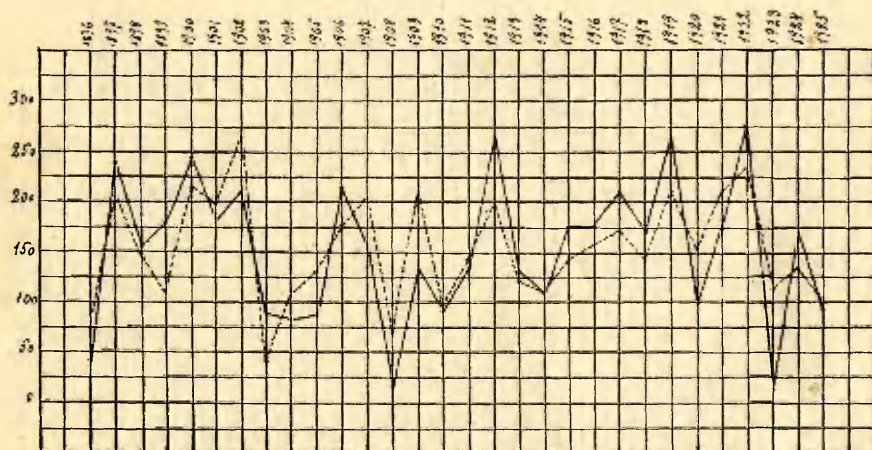


Fig. 3.

Der allgemein ähnliche Verlauf der Linien wie auch der verhältnismässig hohe Wert des Korrelationsfaktors zwischen den durch die Linien dargestellten Zahlenreihen (die Korrelation beträgt 0.78, ihr wahrscheinlicher Fehler 0.11) lässt auf die praktische Anwendbarkeit der Methode schliessen.

Die vorkommenden Abweichungen lassen sich leicht auf die unberücksichtigten Faktoren zurückzuführen, von denen in erster Linie folgende zu nennen sind:

1) Die nicht homogene Reihe der Schneehöhebeobachtungen, die an verschiedenen Stellen der Stadt und Umgebung, wo die Windverhältnisse nicht dieselben waren, angestellt worden sind.

- 2) Die nicht gemessene Schneedichte.
- 3) Die Niederschläge im Zeitraum zwischen dem Aufgang des Flusses und dem höchsten Wasserstand.

- 4) Die Witterung während des Tauens des Schnees.

Durch die Berücksichtigung der erwähnten Faktoren würde die Vorhersage des zu erwartenden Hochwassers für praktische Zwecke wohl befriedigende Resultate ergeben, besonders wenn dazu nicht allein die Schneehöhebeobachtungen der Stadt Tartu, sondern solche des ganzen Zuflussgebietes des Embachs herangezogen werden.

---